

УДК 538.113

Г. А. ЗВЕРЕВА, Н. А. ИРИСОВА, Т. С. МАНДЕЛЬШТАМ,
академик А. М. ПРОХОРОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ Э.П.Р. ИОНА Dy^{2+} В CaF_2 В КОРОТКОВОЛНОВОЙ ЧАСТИ СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Успешное применение кристаллов флюорита (CaF_2), активированных диспрозием, в качестве рабочего вещества ОКГ на длине волны λ 2,36 μ явилось причиной его всестороннего исследования в самых различных диапазонах волн: от оптического до сантиметрового (¹⁻⁹). Ряд работ посвящен изучению системы $CaF_2 : Dy^{2+}$ в магнитном поле. Э.п.р. трех нижних штарковских уровней термина 3I_8 изучался в работах (⁷⁻⁹). В наших работах (^{10, 11}) исследовались переходы между зеемановскими компонентами двух нижних штарковских уровней основного термина 3I_8 на длине волны $\sim 2,06 \mu$ и сообщалось о возможности наблюдения переходов на длине волны $\sim 0,34 \text{ мм}$.

В настоящей работе проведены исследования э.п.р. иона Dy^{2+} в CaF_2 на длине волны $\lambda \sim 0,34 \text{ мм}$ на разработанном нами радиоспектроскопе (¹²), обеспечивающем разрешающую способность порядка 10^4 во всем субмиллиметровом диапазоне волн. Образцы имели форму цилиндра (диаметр $\sim 15 \text{ мм}$, длина 20 мм) с плоско-параллельными торцами, перпендикулярными геометрической оси цилиндра.

Ориентация кристаллических осей производилась нами методом рентгеноструктурного анализа с точностью $\pm 5^\circ$. Экспериментально исследовались образцы двух типов: для одних — в плоскости торцов лежали оси C_2 и C_4 , для других — оси C_2 и C_3 . Исследуемые образцы помещались вертикально в стеклянном сосуде Дьюара между полюсами электромагнита. Исследование спектра э.п.р. производилось при температуре жидкого гелия. Мы наблюдали зависимость величины магнитного поля, соответствующей максимуму линий резонансного поглощения, от длины волны в диапазоне $0,354 \div 0,330 \text{ мм}$. Как видно из рис. 1, отношение сигнал — шум составляло величину ~ 100 , что позволяло нам, помимо измерения положения и ширины линии, проводить сравнительную оценку интенсивностей различных переходов. Частотные измерения положения линий резонансного поглощения позволили определить расположение нижних энергетических уровней. Измерение ширины линий в малых полях позволило произвести оценку ширины уровня $T_2^{(2)}$. Интенсивность линий, наблюдавшихся при различных ориентациях кристалла, менялась более чем в 100 раз.

Нами была уточнена величина начального расщепления между уровнями $E^{(2)}$ и $T_2^{(2)}$ при $4,2^\circ \text{ К}$, которое оказалось равным $29,01 \pm 0,02 \text{ см}^{-1}$, что больше расщепления $28,6 \text{ см}^{-1}$, измеренного при 27° К в (⁷).

На рис. 2 приведены теоретически рассчитанные графики зависимости длин волн переходов от величины постоянного магнитного поля, вычис-

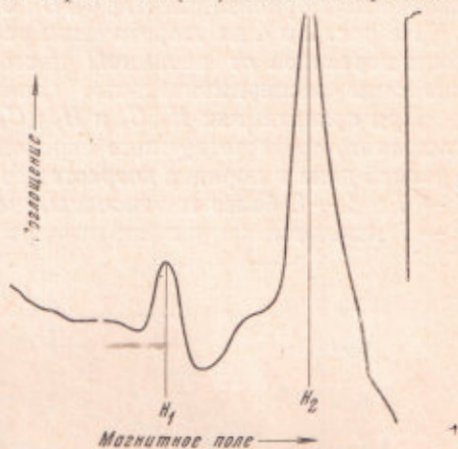


Рис. 1. Экспериментальная запись линий поглощения $CaF_2 : Dy^{2+}$ в магнитном поле ($H_0 \parallel C_4$), соответствующих переходам $2 \rightarrow 6$ ($H_1 = 2200$ эрст.) и $1 \rightarrow 6$ ($H_2 = 2560$ эрст.) при λ 0,3506 мм (постоянная времени $\tau = 1,5$ сек.)

ленные для этих двух значений начального расщепления при ориентации $H_0 \parallel C_3$. Крестиками нанесены наши экспериментальные данные. Используя значения расщеплений $\Delta_1(E^{(2)} \rightarrow T_1^{(1)}) = 4,867 \text{ см}^{-1}$ и $\Delta_2(E^{(2)} \rightarrow T_2^{(2)}) = 29,01 \text{ см}^{-1}$, полученные в нашей предыдущей ⁽¹⁰⁾ и в данной работе, мы провели на ЭЦВМ новый расчет расщепления уровней $E^{(2)}$, $T_1^{(1)}$, $T_2^{(2)}$ в магнитном поле (до 10 кэрст) при тех же предположениях, что и в работе ⁽¹⁰⁾, и с тем же оператором взаимодействия с магнитным полем $\mathcal{H}_{\text{магн}}$. При расчете матричных элементов оператора $\mathcal{H}_{\text{магн}}$ были использованы волновые функции уровней $E^{(2)}$, $T_1^{(1)}$, $T_2^{(2)}$, вычисленные в работе ⁽⁶⁾. Расчет показал, что изменение величины начального расщепления уровней $E^{(2)}$ и $T_2^{(2)}$ не влияет существенно на характер поведения зеемановских компонент уровней $E^{(2)}$, $T_1^{(1)}$ и $T_2^{(2)}$, но является существенным при наблюдении переходов между уровнями $E^{(2)}$ и $T_2^{(2)}$.

На рис. 3 приведены графики зависимости зеемановских компонент уровней $E^{(2)}$, $T_1^{(1)}$, $T_2^{(2)}$ от величины магнитного поля для трех наиболее интересных ориентаций $H_0 \parallel C_1$, C_2 , C_3 .

На рис. 2 и 4 на теоретически рассчитанные графики зависимости длин волн переходов от величины постоянного магнитного поля крестиками нанесены экспериментальные данные. При всех измерениях $H_{\text{в.ч}} \perp H_0$.

При ориентациях $H_0 \parallel C_1$ и $H_{\text{в.ч}} \parallel C_1' \perp H_0$ наблюдаются четыре линии поглощения, соответствующие переходам с уровней 1, 2 на 6, 8 (нумерация уровней дана в порядке возрастания энергии, см. рис. 3), причем переходы $1 \rightarrow 6$ и $1 \rightarrow 8$ более интенсивны, чем $2 \rightarrow 6$ и $2 \rightarrow 8$. Переходы $1 \rightarrow 7$ и $2 \rightarrow 7$ являются запрещенными при данной ориентации H_0 и $H_{\text{в.ч}}$ относи-

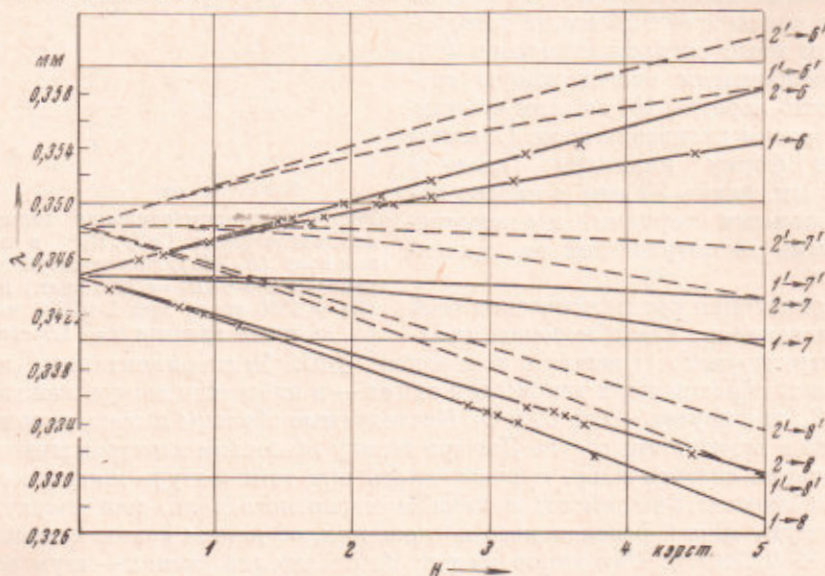


Рис. 2. Зависимость длин волн переходов от магнитного поля для ориентации $H_0 \parallel C_1$. Сплошные линии — начальное расщепление $\Delta_2(E^{(2)} \rightarrow T_2^{(2)}) = 29,011 \text{ см}^{-1}$; пунктирные линии — начальное расщепление $\Delta_2'(E^{(2)} \rightarrow T_2^{(2)}) = 28,6 \text{ см}^{-1}$. Крестиками нанесены экспериментальные данные

тельно кристаллографических осей, и мы не наблюдали их. Известно, что при ориентациях $H_0 \parallel C_2$ и $H_0 \parallel C_3$ вследствие перемешивания состояний как правило, интенсивность линий, соответствующих переходам с уровня 1, в магнитном поле запрещенными становятся все шесть переходов, причем, больше, чем с уровня 2. Это согласуется с проведенной нами оценкой вероятностей соответствующих переходов, вычисленных с помощью полученных при расчете волновых функций.

Отметим, что полученное нами большее значение величины начального расщепления между уровнями $E^{(2)}$ и $T_2^{(2)}$ по сравнению с данными работы (7) может быть связано с тем обстоятельством, что мы проводили измерения при более низкой температуре ($4,2^\circ\text{K}$ вместо 27°K). Понижение температуры приводит к увеличению расщепления в кристаллическом поле, поскольку потенциал кристаллического поля для Dy^{2+} в CaF_2 содержит члены 4-й и 6-й степени, в которые R (расстояние между ионом Dy^{2+} и

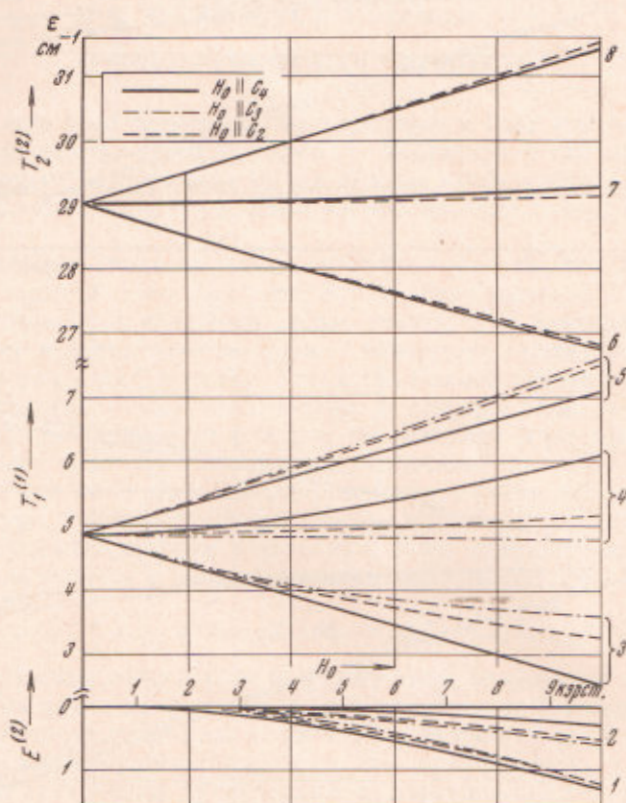


Рис. 3. Диаграмма уровней $E^{(2)}$, $T_1^{(1)}$ и $T_2^{(2)}$ иона Dy^{2+} в CaF_2 в магнитном поле (расщепление уровня $T_2^{(2)}$ для $H_0 \parallel C_3$ не показано, так как оно очень близко к расщеплению при $H_0 \parallel C_2$).

ближайшим ионом F^-) входит соответственно как R^{-5} и R^{-7} . С понижением температуры константы кристаллического поля увеличиваются, вызывая увеличение расщепления между шарковскими компонентами.

Наблюдение переходов между уровнями $E^{(2)}$ и $T_2^{(2)}$ в магнитном поле чрезвычайно интересно с точки зрения динамики работы лазера на кристаллах $\text{CaF}_2 : \text{Dy}^{2+}$. Уровень $T_2^{(2)}$ является конечным уровнем люминесцентного перехода $T_1^{(2)} ({}^5I_7) \rightarrow T_2^{(2)} ({}^5I_8)$, на котором осуществлена генерация с длиной волны $\lambda 2,36 \mu$ (1).

Как было показано в работе (5), уширение линии люминесценции этого перехода связано, в основном, с уширением уровня $T_2^{(2)}$, которое определяется, главным образом, однофононными безызлучательными переходами на уровни $T_1^{(1)}$ и $E^{(2)}$. Рассчитанное в (5) значение ширины линии люминесценции перехода $T_1^{(2)} ({}^5I_7) \rightarrow T_2^{(2)} ({}^5I_8)$, равно $\sim 0,073 \text{ см}^{-1}$ при $4,2^\circ\text{K}$, а экспериментально в (6) было получено, что значение ширины уровня при той же температуре меньше чем $0,07 \text{ см}^{-1}$.

Предполагая ширину основного состояния $E^{(2)}$ малой, можно из измеренной нами ширины линии поглощения перехода $E^{(2)} \rightarrow T_2^{(2)}$ получить

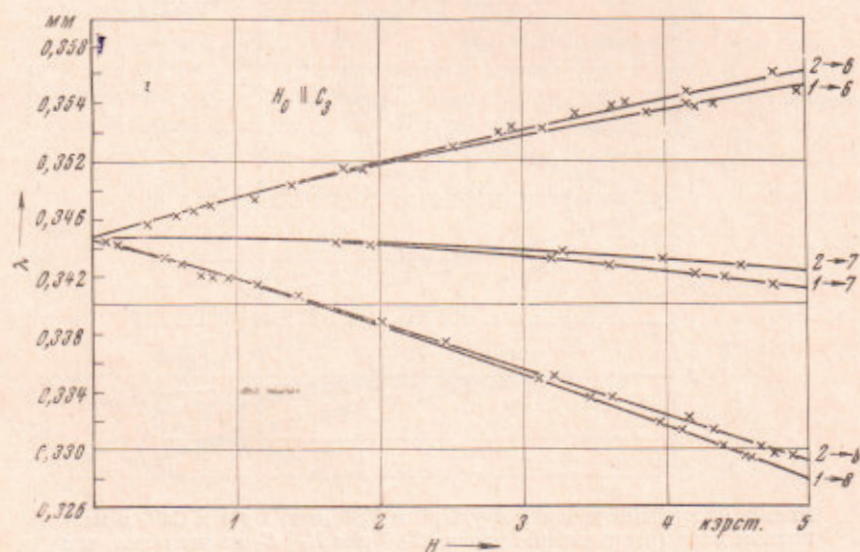
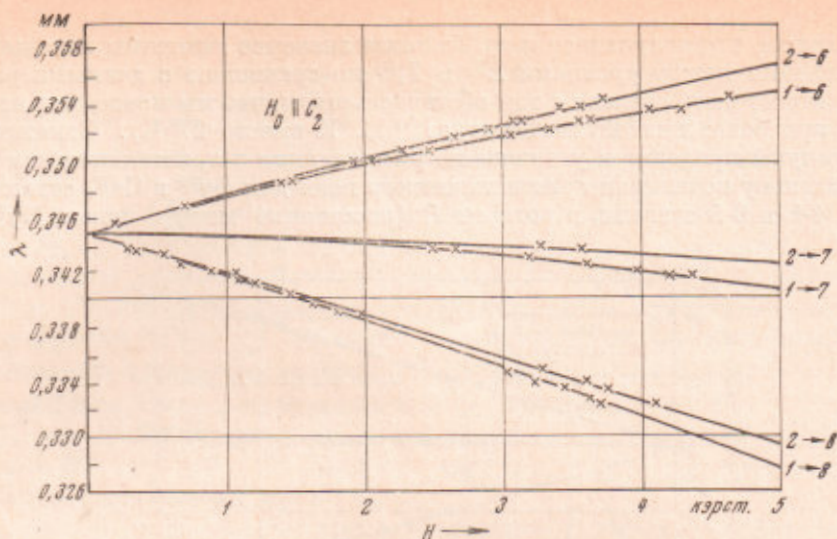


Рис. 4. Зависимость длин волн переходов от магнитного поля при $H_0 \parallel C_2$ и $H_0 \parallel C_3$

ширину уровня $T_2^{(2)}$. В магнитных полях $\sim 0,5$ кэрст. ширина линий составляла ~ 150 эрст., или $0,04 \text{ см}^{-1}$. Таким образом, ширина уровня $T_2^{(2)}$ по нашим данным $T = 4,2^\circ \text{ К}$ имеет величину $\sim 0,04 \text{ см}^{-1}$, что достаточно хорошо согласуется с теоретически полученной в работе ⁽⁵⁾ величиной.

Авторы благодарят Б. Я. Ершова за помощь в вычислительной работе.

Поступило
17 IV 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Z. Kiss, R. Duncan, Proc. IRE, 50, 1531 (1962). ² В. К. Колюхов, В. В. Костин и др., ДАН, 165, 1691 (1965). ³ Е. М. Золотов, А. М. Прохоров, Г. П. Шипуло, ЖЭТФ, 49, 720 (1965). ⁴ В. В. Костин, Л. А. Кулевский и др., Журн. прикл. спектроскопии, 6, 33 (1967). ⁵ М. И. Джибладзе, Г. А. Зверева и др., ЖЭТФ, 51, 773 (1966). ⁶ Z. Kiss, Phys. Rev., 137A, 1749 (1965). ⁷ Z. Kiss, C. H. Anderson, R. Orbach, Phys. Rev., 137A, 1761 (1965). ⁸ E. S. Sabisky, J. Chem. Phys., 41, 892 (1964). ⁹ D. Margerian, J. H. Nargor et al., Phys. Rev., 153, 349 (1967). ¹⁰ Е. А. Виноградов, Г. А. Зверева и др., ФТТ, 11, 335 (1969). ¹¹ Г. А. Зверева, Н. А. Ирисова и др., Крат. сообщ. по физ., № 1, 43 (1970). ¹² Е. А. Виноградов, Н. А. Ирисова и др., Приборы и техн. экп., № 5, 192 (1967).